

⑩ 日本国特許庁 (JP)

⑪ 特許出願公開

⑫ 公開特許公報 (A)

昭55-17443

⑬ Int. Cl.<sup>3</sup>  
G 01 N 21/88

識別記号

庁内整理番号  
6367-2G

⑭ 公開 昭和55年(1980)2月6日  
発明の数 1  
審査請求 未請求

(全 7 頁)

⑮ 光学式表面欠陥検出器

神奈川県足柄上郡中井町久所30  
0番地日立電子エンジニアリン  
グ株式会社内

⑯ 特 願 昭53-90328

⑰ 出 願 昭53(1978)7月26日

⑱ 発 明 者 中島洋

神奈川県足柄上郡中井町久所30  
0番地日立電子エンジニアリン  
グ株式会社内

⑲ 発 明 者 大上正勝

神奈川県足柄上郡中井町久所30  
0番地日立電子エンジニアリン  
グ株式会社内

⑳ 発 明 者 蓬萊泉雄

㉑ 発 明 者 津田信義

神奈川県足柄上郡中井町久所30  
0番地日立電子エンジニアリン  
グ株式会社内

㉒ 出 願 人 日立電子エンジニアリング株式  
会社

神奈川県足柄上郡中井町久所30  
0番地

㉓ 代 理 人 弁理士 秋本正実

最終頁に続く

2

明 細 書

発明の名称 光学式表面欠陥検出器

特許請求の範囲

1. レーザ発振管と、該レーザ発振管よりのレーザビームを集光するレンズと、該レンズの前方に生ずるレーザスポットの位置に指向させて放射状に複数本配置したオブチカルファイバ群とにより検出部を構成し、前記検出部とは別に、前記オブチカルファイバ群の他端に受光素子を配設した受光部を設けたことを特徴とする光学式表面欠陥検出器。
2. レーザ管をホルダにより被検体の表面に対し直角に支持すると共に、前記ホルダの下端にレーザスポット位置を中心としてそれより外方に放射状にのびる複数の挿入穴を有するオブチカルファイバ固定具を固定し、該固定具の各挿入穴に夫々オブチカルファイバを挿入固定し、さらに、前記レーザ管の下端とオブチカルファイバ固定具との間に集光レンズを上下位置調節自在に取付けてなる特許請求の範囲第1項に記載

の光学式表面欠陥検出器。

発明の詳細な説明

この発明は、シリコンウエハー面板などの各種材料の表面にある傷などの欠陥（以下表面欠陥という）を検出する光学式表面欠陥検出器に関するものである。

半導体製品材料としてのシリコンウエハー面板乃至は各種金属、非金属の表面欠陥を検出する方法として、従来から人手による方法、すなわち裸眼または顕微鏡による目視方法が行なわれているが、このような方法では非効率であるばかりでなく、個人差による検出結果のバラツキがあり、大量の生産ラインには適さない。これに対して、光学式検出法により表面欠陥を検出し、検出された電気信号をコンピュータ処理する自動検査方式の開発が進められている。

上記した光学式表面欠陥検出においては、用いる光源、受光方式ならびに受光素子の選定には多くの形式が考えられる。例えば、通常の照明ランプを光源とし、レンズ系により面板上に小さいス

ポットを形成する。受光器としては集光レンズを面板の1隅方、例えば斜上方向において、欠陥により生ずる散乱光を捉える方式が最も単純な方式として考えられるが、通常の照明ランプによつては必ずしも直径の小さい、かつ強度の大きいスポットを作ることが容易でなく、これでは検出能力がよい。また、欠陥による散乱光は欠陥の種類、形状、大きさなどによりその方向、角度とも様々に変化するので、上記のごとく単に1隅方におかれた狭い角度を捉える集光レンズによつては、このような機相の散乱光を正確に捉えることは困難である。

従つて、光学式表面欠陥検出器としては、検出効率が良好であることが必要であるが、それと同時に、構造が簡単で保守が容易であり、さらに生産ラインの自動検査装置に適するものが望まれている。

この発明による光学式表面欠陥検出器は、各種材料の表面欠陥を検出するために、レーザ光を被検体の表面に照射し、その反射光のうち表面欠陥

特開昭55-17443(2)

による散乱光をオプティカルファイバーを用いて有効に集光して受光素子に導びき、散乱光の強度の検出または散乱光の分散パターンを検出できるもので、集光効率の向上と光学調整の容易な構造とし、併せて生産ラインにおける欠陥自動検査装置に適用することを目的とするものである。

この発明による光学式表面欠陥検出器は、光源として連続発振によるレーザ光を用いる。レーザ光は適当なレンズにより容易に細いビームに絞ることができ、強度の大きいスポットを被検体に照射することにより微細な欠陥の検出が可能であるからである。

ここで、表面欠陥によるレーザビームの散乱について述べると、被検体は通常磨かれた鏡面をなしており、その被検体に対し直角方向から投射されたレーザビームは正反射して投射と同軸上を若干の拡角をもつて戻るが、もし欠陥があるときは、その種類、形状、大きさなどの要素に応じた方向および強度をもつて散乱する。この場合、散乱パターンを分析することにより、上記各要素を推

定することがある程度可能であり、また同一種類、形状の欠陥についてみれば、散乱された光強度（各方向の散乱光の総和）は欠陥の大きさの関数として変化するので、単に大きさを知るためには上記した散乱光強度を検出するのみでよい場合がある。

以上において、散乱光に対する検出素子の配置は欠陥に接近しておくことが受光効率の点からは望ましい。そこでこの発明においては、複数のオプティカルファイバーを前記したレーザスポットに接近して配置し、散乱光を有効に捉えて受光素子に導くものであり、レーザ光源と受光用ファイバー群は1体に構成して相互の関係位置を一定に保ち、また受光素子はオプティカルファイバーの終端すなわち任意の位置に設けることができるようにする。

さて、上記した複数のオプティカルファイバーの配置に関しては、効率を良好とするために2〜3の点について配慮することが必要である。

まず、仮定として、欠陥による散乱光が各方向に一様に散乱するものとすれば、全方向をカバー

できるだけのオプティカルファイバーを配列することが理想である。しかしながら、オプティカルファイバーとして、極めて細いファイバー束線を多数一括して直径数mmの円形断面とし、かつ両端に所定の処理を施して光伝送損失を小さくした成形品が市販されているので、その成形品を用いることが機構の簡略化などで有利である。ただし、このようなオプティカルファイバーの成形品（以下単にオプティカルファイバーという）を使用する場合、検出効率を良好とするために、使用本数、配置などが重要な問題となる。

第1図はこの発明による光学式表面欠陥検出器のオプティカルファイバーの配列についての説明図で、水平におかれた被検体1に垂直にレーザ光2が照射され、レーザスポットの点Pに正対して、上記した円形断面のオプティカルファイバー3の先端3'が対向している。この場合、被検体1とオプティカルファイバー3の中心軸とのなす角度 $\alpha$ およびオプティカルファイバーの先端3'が点Pに対して張る角度 $2\theta$ によつて散乱光の検出効率が左右される。

いま、前記の仮定により散乱光が各方向とも一律として、角度 $\alpha$ を $45^\circ$ にとるものとする。この角度で複数のオブチカルファイバ3を円周上に配列するときは、隣接するオブチカルファイバ3の先端が互に接触するので、先端と点Pとの距離には一定の接近限界がある。ただし、この接近限界においても、先端と被検体1が接触するかそれはない。第2図は1例として6本のオブチカルファイバ3を円周上に配列したときの先端の被検体1上への投影 $\phi$ を示す図で、上述した接近限界に近い位置にあるものである。

一方、第1図において、点Pを中心とし、先端 $\phi$ までの距離Rを半径とする半球面をとり、その表面積に対して上記した接近限界にある $n$ 本のオブチカルファイバ群の先端 $\phi$ の総面積の比をとると、これは散乱光の検出効率にほぼ等しいとみることができる。 $n$ を変数とし(角度 $\alpha = 45^\circ$ とする)、上記面積比の計算概数を示すと第3図のとおりである。 $n$ が6以上については、 $n$ が大きいほど面積比が小さくなるので、この点では $n$ を大きくと

ることは無意味である。

しかしながら、オブチカルファイバ3の特性として、先端 $\phi$ に入射する光線の入射角にはある制限があり、入射角がその制限以上に大きいときは先端 $\phi$ の面の反射などにより受光できない。この特性の1例を第4図に示す。一方、第1図に示す角度 $\theta$ は、本数 $n$ が大きいほど小さくなるもので、 $n$ に対する $\theta$ の値を前述したオブチカルファイバ3の配列状態について計算した概数を第5図に示す。

第4図および第5図に示す兩曲線を勘案すると、 $n$ が小さいときは無効反射が大きくなり、前記した面積比による受光効率と、 $n$ について逆の特性を示すことが判明する。これらにより、散乱光を有効に捉えるには、 $n$ として4~6程度を用いることが得策であり、例えば $n=6$ とすると、面積比は約40%であるが、 $\theta$ は約 $20^\circ$ であり無効反射は少なく、かなり効率的である。

次に散乱光のボタンを検出する場合について述べると、この場合は、各オブチカルファイバ3の

検出信号がその位置(方向)の散乱光強度を示すものとして利用されるものであるから、 $n$ を大きくとるほどボタン精度は良好であり、少なくとも $n=6$ ( $60^\circ$ 方向識別)が必要で、場合によつては $n=9$ または12などとする必要があるであろう。

以上述べた各場合に対して、所要本数のオブチカルファイバ3を、点Pに対してできる限り接近して、精密に配置することができる固定具が必要であり、その点は実施例において説明する。

次に、受光素子について要点を述べると、散乱光の総量を検出する場合に対しては、オブチカルファイバ群の終端を一括して1個の例えばフォトマルチプライヤに入力する方法がとられ、このための固定具が用いられる。またボタン検出の場合には、各オブチカルファイバ3の終端に1個宛の受光素子例えばピンフォトダイオードが接続される構造がとられるものである。

第6図(a)、(b)、(c)は、この発明による光学式表面欠陥検出器の構造を示す一実施例で、第6図(a)は側面図、第6図(b)は一部平面図、第6図(c)は一

部垂直断面図である。

これらの図において、レーザ管4はアルミ等の軽金属製のホルダ5に包まれてセットスクリーン6により位置決め固定されている。ホルダ5の下部には、周辺にネジ10を有するアルミ等によるリング形のオブチカルファイバ固定具9が嵌入されている。該固定具9およびホルダ5には斜方向で中心軸に向う複数(オブチカルファイバ数と同じ)の穴が放射状に設けられており、オブチカルファイバ3は該穴を貫通して挿入され、微細調整のちセットスクリーン17により固定される。

次にレンズ機構について述べると、第6図(c)において、ホルダ5の下方内部には前記固定具9の上面にレンズ用の固定リング18が固着され、該固定リング18の上部には押えリング20によりダイヤル8を有する回転リング19が回転自在に取付けられている。

一方、レンズ22は、レンズマウント22'によりレンズ内筒21に嵌入固定しており、また、レンズ内筒21はレンズ外筒23にネジ24を用いて固定されている。

このようなレンズ外筒23には外周に調整ネジ25が刻まれており、これと回転リング19の内側が噛合う構造とされているので、ダイヤル8を回転することにより、レンズ外筒23、したがってレンズ22が上下に移動でき、焦点調整が行なわれる。このダイヤル8は、第6図(a)に示す如くホルダ5に設けられた窓7に面しており、外部より容易に回転操作ができ、かつ該ダイヤルに近接して必要な目盛8と設け、焦点調整の便を計っている。

次に、レンズ内筒21の上部には、ピンホール板26が設けられている。ピンホール板26の目的は、レーザビームに付属する不要側波をカットし、 $S/N$ 比を向上させるもので、ピンホールの直径を変更する場合など容易に取替えが可能である。

ここで、レーザスポット径を変更する場合について述べる。この実施例においては、レンズ22として適当とする焦点距離を有するものを用いて、十数ミクロン乃至数十ミクロンの範囲の直径のスポットを作ることができるもので、レンズ22の交換はレンズマウント22またはレンズ内筒21を取替え

特開昭55-17443 (4)

ることにより容易に行なうことができる。また、レーザ管4の出力ビームをそのまま使用する場合（通常1mm程度）はレンズ22を除去すればよいことは勿論である。

次に、ホルダ5の上下移動調整機構と検出器全体の固定方法について述べる。まず、ホルダ5の上下移動は滑りガタの極めて少ないローラガイド13により行なわれる。ローラガイド13は固定部13-1と可動部13-2よりなり、これがローラ13-4を介して互にスライド自在に連結されており、<sup>1</sup>「ガタ」が極めて小さいものである。ローラガイド固定部13-1はスタンド14に固着され、一方可動部13-2はホルダ5に固着されており、ツマミ11の回転により微動ネジ棒12に嵌合した可動部13-2、したがってホルダ5が上下移動でき、スライドピン15とクランプ16により正しい位置に固定されるものである。

また、前記スタンド14は、別途自動検査装置の所要場所に固定される。この場合、被検体1の全面をレーザビームが走査するため、検出器全体

が移動できるようにスタンド14が上記自動検査装置の可動部分に固着される場合があるので、スタンド14を含む上述した検出器の各部は振動などに耐える十分な強度をもつことが必要である。

上述した実施例においては、オブチカルファイバ3と被検体1との角度 $\alpha$ を約45°とした場合の例を示したが、被検体1の欠陥種類または性質などにより、散乱方向に特性がある場合など、上記角度 $\alpha$ を約45°以外の例えば30°あるいは60°とすることは上述の固定具9およびホルダ5の穴方向などと変更するのみで実施することができるものであり、この発明による光学式表面欠陥検出器は、多数の素部を一括集合してある程度の太さに成形されたオブチカルファイバ3を複数本放射状に配置したものである限り、オブチカルファイバ3の本数はもとより、任意の角度 $\alpha$ に適用できるものである。

第7図(a)(b)はこの発明による光学式表面欠陥検出器の受光素子部の構造を示す実施例で、第7図(a)は、オブチカルファイバ3の終端を固定具31に設けられた穴32に挿入して複数のオブチカルファ

イバ3を集約し、適当な取付具30により、固定具31をフォトマルチプライヤ28の磁気シールドケース29に取付けたもので、オブチカルファイバ3の先端がフォトマルチプライヤ28の有効面に接近しておかれ、光電変換が行なわれる。この場合は各オブチカルファイバ3による受光のトータルが光電変換されるものである。

第7図(b)は各オブチカルファイバ3に1個宛の受光素子例えばピンフォトダイオードを用いたもので、図の固定具33によりオブチカルファイバ3の先端はピンフォトダイオード34に接近しておかれている。なお、図には省略してあるが、固定具33の内部に外光が入らないように適当なカバーを必要とすることは云うまでもない。

上述した実施例における受光素子の種類、オブチカルファイバ3の固定方法は単なる1例にすぎないことは勿論である。

以上述べたように、この発明による光学式表面欠陥検出器は、レーザ発振管と、該レーザ発振管よりのレーザビームを集光するレンズと、該レン

ズの前方に生ずるレーザスポットの位置に指向させて放射状に配置したオブテカルファイバ群とにより検出部を構成したので、円周方向のほぼ全域に亘り表面欠陥による散乱光を有効に検出することができ、また、受光部は前記オブテカルファイバ群の他端に受光素子を配設した簡単な構成であるので、光学調整が容易で、保守に好都合であり、さらに、受光素子を除く検出部を一体に構成すると共に、これと受光部とを別体としたので、検出部をコンパクトな構造として自動検査装置の可動部に搭載することができ、かつ受光素子は任意の位置におくことができ、これらにより、生産ラインの自動検査装置として有効に使用することができる効果がある。

#### 図面の簡単な説明

第1図はこの発明による光学式表面欠陥検出器におけるオブテカルファイバの配列説明図、第2図はオブテカルファイバの先端の被検体上への投影図、第3図はオブテカルファイバの先端面と半球面積の比の特性曲線図、第4図はオブテカル

特開昭55-17443(5)

ファイバの入射角特性の1例を示す曲線図、第5図はこの発明による光学式欠陥検出器におけるオブテカルファイバの配列におけるオブテカルファイバの数と最大入射角の関係を示す特性図、第6図(a), (b), (c)はこの発明による光学式欠陥検出器の実施例を示す構造図、第7図(a), (b)はこの発明による光学式表面欠陥検出器の受光素子部の実施例を示す構造図である。

1 … 被検物、2 … レーザ光、3 … オブテカルファイバ、4 … レーザ管、5 … ホルダ、6, 17, 27 … セットスクリユー、7 … 窓、8 … 微動ダイヤル、9 … 固定具、10 … 電源線入口、11 … ツマミ、12 … 微動ネジ棒、13 … ローラガイド、13-1 … 固定部、13-2 … 移動部、14 … スタンド、15 … スライドビン、16 … クランプ、18 … 固定リング、19 … 回転リング、20 … 押えリング、21 … レンズ内管、22 … レンズ、23 … レンズ外筒、24, 25 … ネジ、26 … ビンホール板、28 … フォトマルチプライヤ、29 … 磁気シールドケース、30 … 取付具、

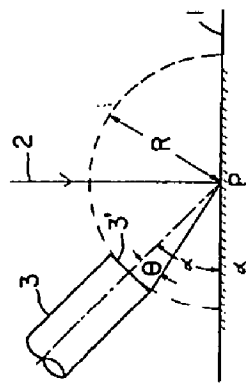
31 … 固定具、32 … 穴、33 … 固定具、34 … 受光素子

特許出願人 日立電子エンジニアリング株式会社

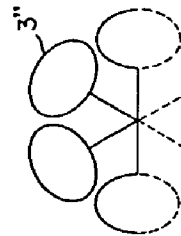
代理人 井理士 秋 本 正 実



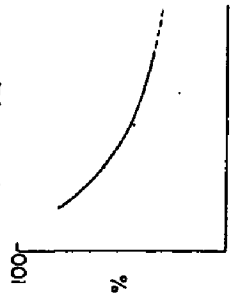
第 1 図



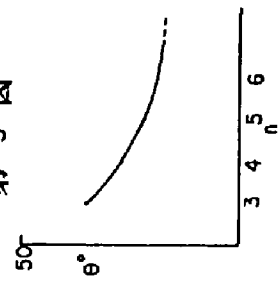
第 2 図



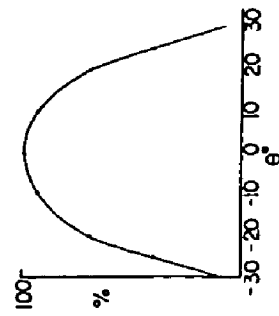
第 3 図



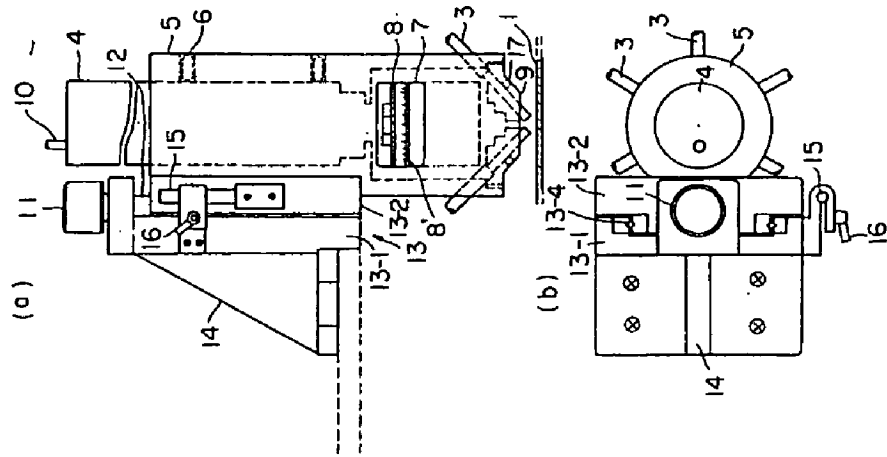
第 5 図



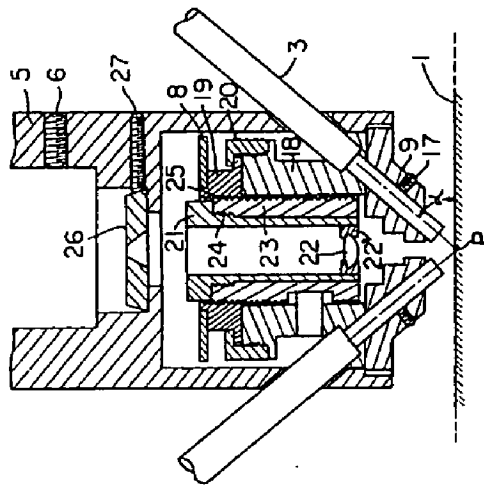
第 4 図



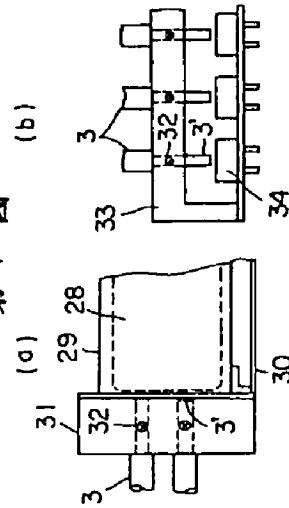
第 6 図



第 6 図 (c)



第 7 図



第 1 頁の続き

⑫ 発 明 者 高橋健策  
 神奈川県足柄上郡中井町久所30  
 0番地日立電子エンジニアリン  
 グ株式会社内

Specification

Ref. 5  
JPA55-017443  
特開昭55-17443

The title of the invention: Detector for surface deficiency of optical type

Claims

1. A optical type detector for surface deficiency of a inspected object, characterised in including a photo detector section and a light receiving section separated from said photo detector section, wherein said photo detector section comprising a laser oscillating tube which generates a laser beam, a lens which collects the light beam from the laser tube and focuses to a laser spot on the inspected object, and a group of optical fibers arranged radially toward the location of the laser spot, wherein said light receiving section comprising a plural of light receiving elements which are mounted on another end of said optical fibers in order to receive the laser beam scattered from the surface deficiency in the laser spot.
2. The optical type detector for surface deficiency according to Claim 1, characterised in further including a holder and a fixture for the optical fiber group, wherein said holder supports the laser tube perpendicularly to the surface of the inspected object, wherein said fixture for the optical fiber group is mounted at the lower end of said holder and includes a plural of insertion holes extending outwardly along radial directions from the laser spot as a center point,



wherein each of the optical fibers is inserted and fixed into the respective insertion hole, wherein said lens is moveably mounted between the lower end of the laser tube and the fixture so that the position of said lens can freely be adjusted.

#### Detailed description of the invention

The present invention relates to a optical type detector for surface deficiency. This optical type detector can inspect defects, for example scratches (such defects are called as surface defects in the followings) on the surface of a plate of various materials such as silicon wafer.

Traditional methods detecting the defects on the surface of the plate of various metals and non-metals and a wafer of silicon as a semiconductor material, have been practiced by manual detection, that is, visual detection through naked eyes or a microscope. However, these methods are inefficient and furthermore the results of the inspection by these methods show substantial dispersion due to the difference of persons carrying out such inspection, so that it will be inappropriate to use such methods in the production line. Therefore, it has been desired to develop a improved method of the manner of automatic detection, in which the surface defects are detected optically and the signals obtained from such a optical detection are converted to the electrical signals and these electrical signals are processed by a computer.

In the previous methods of such optical type detection of the surface defects, several kinds of light sources, light receiving schemes and light sensitive elements have been used. For example, the light source may be a ordinal illuminating lamp. Then the light beam from the lamp pass through a lens system, and a light spot with small size can be formed on the surface of the plate of the inspected object. As the simplest light receiving scheme, it is conceivable that light collecting lens are arranged in one side of the surface, for example in the slopewise and upward direction from the surface of the inspected object and the light scattered from the defects on the surface are detected through the light collectng lens. But, in this scheme, high ability and good performance to detect the defects on the surface will not be achieved, because it is not easy to make the light spot with small size and to obtain high light intensity from the usual illuminating lamps. Moreover, since the direction and the intensity of the scattered light from the defects depend variously upon the type, the shape, and the size of the defects on the surface. By arranging the light collecting lens described above which is disposed in one side of the surface and receives only light scattered into narrow angle around the specific direction, it is difficult to properly detect the dispersely scattered light.

Therefore, it has been desired to provide the detector for surface deficiency of optial type that has high efficiency for the detection of the defects and at

the same time the construction of the detector is simple and maintenance is easy and further adaptable to the automatic inspection system in the production line.

In order to detect the surface deficiency of the various materials, the detector for surface deficiency of optical type according to the present invention illuminates the surface of the inspected object by laser light beam and the light scattered from the defects on the surface are effectively collected by using a plural optical fibers and transmitted to the photo detector through the optical fibers, whereby the intensity and the distribution profile of the scattered light can be detected. An object of the present invention is to provide a optical type detector having a simple configuration with efficient collecting ability of the scattered light and easy optical adjustment of the detector, and at the same time applicable to the automatic defect detection system in the production line.

The detector for surface deficiency of optical type according to the present invention uses the continuously oscillating laser as a light source. The narrow light beam with high intensity may be easily formed from the laser beam by using the appropriate lens. By illuminating a small spot on the inspected object with the narrow light beam of high intensity, it is possible to detect the minute defects on the surface of the inspected object.

The detection of the scattering pattern of the

laser beam by the defects on the surface is practiced in the followings. The surface of the inspected object is usually polished to the mirror like surface. When the laser beam is perpendicularly incident to the surface, if there are a small amount of defects on the surface, the reflected light beam will mainly return parallel to the incident light beam, but with some spread due to the scattering by the defects on the surface. The degree of the spread of the reflected light beam depends on the factors such as the type, the shape, and the size of the defects. Therefore, by analysing the scattering pattern of the laser beam, the evaluation of said factors of the defects will be possible to some extent. If only the defects of the same type or the same shape are inspected and if only the sizes of the defects are required to know, it will be sufficient to detect only the total intensity of the scattered light ( i.e. total of the light intensity scattered into various directions), since the light intensity of the scattered light varies as a function of the size of the defects.

In the above practice, in order to receive effectively the scattered light, it is desired to arrange the detecting elements in proximity of the defects. According to the present invention, a plural of optical fibers are arranged in proximity of said laser spot so as to effectively receive the scattered light and then to transmit to the photo detectors. The laser light source and a group of the optical fibers

receiving the scattered light are made to one body structure so that the relative arrangement of them is kept constant. Each of the photo detectors can also be mounted at another end of the optical fibers. Since the optical fibers have long size and are flexible, each of the photo detectors can be mounted at any adequate and desired locations.

Hereupon, in order to provide effective arrangement of a plural of optical fibers, some consideration about said arrangement are needed.

First, if it is assumed that the scattering of the light due to the defects on the surface is uniform over all directions, it is preferable to arrange sufficient number of the optical fibers over all directions. However, since the available optical fibers are made as a bundle of a number of very narrow optical fiber elements and have a circular cross section with diameter of several mm and both ends of the bundle of optical fibers are usually treated so as to have low loss in the transmission of the light at the end planes, it is favorable to use such available optical fibers to make the construction simple. However, when such a bundle of optical fibers ( called simply as optical fibers in the followings ) is used, it is important for improvement of the efficiency of the detection to use adequate number of optical fibers and to arrange them appropriately.

Figure 1 shows a arrangement of the optical fibers of the detector for surface deficiency of optical type

according to the present invention. As is shown in Figure 1, the laser light 2 is incident perpendiculary to the surface of the inspected object 1 and the end plane 3 of said optical fibers 3 with circular cross section is arranged against the illuminating point (laser spot P) to which the laser beam is incident. In this arrangement, the efficiency of detection of light scattered from the laser spot depends on the angle  $\alpha$  and angle  $2\theta$ , where  $\alpha$  is angle between the center line of the optical fiber 3 and the surface of the inspected object 1 and  $2\theta$  is angle which the end plane 3' of the optical fiber spans against the laser spot P.

It is assumed that the intensity of the scattered light over all directions around the incident laser beam 2 is uniform as above assumption and the angle is taken to be  $45^\circ$ . If a plural of optical fibers 3 are to be arranged with the angle  $\alpha$  on a circle around the incident laser beam 2, the distance between the end plane 3 of the optical fibers and the laser spot P will have a certain lower limit, because the end 3 of the adjacent optical fibers in lateral direction may contact each other when said distance become smaller. On the other hand, even at the limiting distance of proximity between the end plane 3 and the laser spot P, the end plane 3' and the inspected object 1 will not contact each other. Figure 2 shows an example of projection 3'' of the ends plane 3' of the six optical fibers to the surface of the inspected object 1. In Figure 2, said six optical fibers are disposed on a circle around the

laser beam 2 with the angle  $\alpha$  from the surface of the inspected object 1 and these fibers will be near the limiting distance of proximity.

On the other hand, as is shown in Figure 1, the ends of the optical fibers are arranged on a semisphere whose center is the laser spot P and radius R is the distance from the laser spot P to the ends of the optical fibers. The ratio of total of the areas of the end planes of all optical fibers ( the number of the optical fibers is n ) to the area of the surface of the semisphere may approximately be regarded as a detection efficiency of the scattered light. Figure 3 shows approximate values of said ratio as a function of n ( the angle  $\alpha$  is taken to be  $45^\circ$  ). In the case of that n is larger than six, the ratio become small. Therefore, in order to improve the detection efficiency, it is not effective to increse n.

However, the optical fibers 3 has a characteristics that transmittivity of light from the outside into the optical fiber decreases with increasing of the incidence angle, since the reflectivity of light at the surface of the optical fiber increses with the incresing incident angle. Then the incidece angle to the end plane 3 of the optical fiber 3 will has essentially a upper limit, over which the incidentlight can not substantially transmit into the optical fibere. Figure 4 shows an example of such a characteristics. The angle shown in Figure 1 will decrease with increasing n, the number of the optical fibers. Figure 5 shows the calculated

values of  $\theta$  as a function of  $n$ , where the optical fibers are arranged as described above.

Taking into account of the characteristic curves shown in Figure 4 and Figure 5, when the number  $n$  become small, the light intensity reflected by the end plane of the optical fibers increase, hence the light intensity transmitted into the optical fibers and hence reached at the photo detectors decrease. While, when the number  $n$  become large, the quantity of receiving light increase by the reason of the ratio of area. Thus, the receiving efficiency of the scattered light are influenced by two factors, that is, the ratio of the areas and the number  $n$ . But the influence of said two factors has opposite tendencies. Considering said tendencies, it is most preferable to make compromise the influences of these two factors. Considering the results shown in Figure 3, Figure 4, and Figure 5, it will be most preferable to use the number  $n$  of 4 or 6. For example, when  $n=6$ , the ratio of the area is about 40%, but is about 20%, hence the loss by the reflection is rather small and the total efficiency receiving the scattered light will be acceptable.

Next, in the followings, a distribution pattern of the intensity of the scattered light will be described. Since the signals detected by each optical fiber 3 represents the light intensity scattered into those positions ( directions ), the more the number  $n$  of the optical fibers increase, the more the accuracy of the distribution pattern of the scattered light is improved.



It will need to be at least  $n=6$  (in this case, the distinction of the direction by 60 may be possible). As the more accuracy is required, it is necessary to take  $n=9$  or  $n=12$ .

In each case described above, the predetermined number of the optical fibers should be arranged as much near the laser spot P as possible. Hence, in order to arrange and fix the optical fibers precisely, it is important to use a fixture. An embodiment of the fixture will be described later.

Now, essentials of the photo detector are described. When it is required to detect only total amount of the scattered light, all another ends of a group of the optical fibers are bundled together and the output light from this another end of this bundled optical fibers is supplied to a photo detector, for example photomultiplier. In this case, a fixture for a bundle of the optical fibers should be used. On the other hand, when it is required to detect the distribution pattern of the scattered light, each of a plural of photo detectors, for example PIN photodiode, is mounted to each of a plural of optical fibers 3.

Figures 6(a), (b) and (c) show a schematic drawings of an embodiment of the detector for surface deficiency of optical type according to the present invention. Figure 6(a) shows a side view, (b) a plane view in part and (c) a vertical cross sectional view in part.

In these drawings, a laser tube 4 is disposed and fixed inside a holder 5 by means of a plural of set

screws 6. The holder 5 may make with metals such as aluminium. A fixture 9 for the optical fibers is mounted in the bottom of the holder 5. The fixture 9 has ring like shape and may make with metals such as aluminium. The fixture 9 has a plural of set screws 17 around it. Said fixture 9 and holder 5 have a plural of insertion holes along oblique directions toward the center axis of the holder 5. The number of the holes is same as the number of the optical fibers. The optical fibers are inserted into said holes and are fixed by the set screws 17 after fine adjustment of the positions of the optical fibers 3.

Next, a mechanical structure to mount the lens will be explained. As is shown in Figure 6(c), in the inner side of the lower part of the holder 5 a fixing ring 18 for the lens are mounted on the upper surface of said fixture 9 and a rotating ring 19 with a dial 8 is mounted rotatably on said fixing ring 18 by a press down ring 20.

On the other hand, in a inner tube for lens 21 the lens 22 is mounted and fixed by a lens mounting element 22', and the inner tube for lens 21 is fixed to a outer cylinder for lens 24 by means of a screw 24. A adjusting screw 25 is made on the outer surface of the outer cylinder for lens 24. As a adjusting screw 25 is engaged with the inside screw of the rotating ring 19, when the dial 8 is rotated, the outer cylinder for lens 23, hence also lens 22, can move vertically, so that adjustment of focusing of the lens is carried out. As

can be seen in Figure 6(a), the dial 8 faces to a window 7 of the holder 5, so that it is easy to rotate the dial 8 externally, and moreover in convenience of adjustment a scale is provided in proximity of said dial 8.

A pin-hole plate 26 is mounted at a upward position of the inner tube for lens 21. The pin-hole plate 26 serves for cutting unnecessary sidewave which is associated with the laser beam and to improve the signal to noise ratio. If it is required to change a diameter of the pin-hole, it is easy to exchange the pin-hole plate to another one with another diameter.

A way to change the diameter of the laser spot will be explained. In this embodiment, the lens 22 having adequate focal length is used so that the laser spot with diameter from a ten and several micrometer to several tens micrometer may be formed. The exchange of the lens 22 is practiced easily by exchanging the lens mounting element 22 or the inner tube for lens 21. When the output beam ( its diameter is about 1 mm ) from the laser tube wants to use as it is, lens 22 is merely removed.

Next, the vertical movement control mechanism of the holder 5 and the fixing method of the whole of the detector will be explained. First of all, the vertical movement of the holder 5 is practiced by using a roller guide 13 which has very small looseness. The roller guide 13 comprises a fixed block 13-1 and a moving block 13-2, and they are slidably mounted through the roller guide 13. The preciseness of this mounting is high

degree and in this mounting there is substantially no looseness. The fixed block 13-1 and the moving block 13-2 of the roller guide 13 are fixed to a stand 14 and the holder 5, respectively. When a fine adjustment screw rod 12 is rotated by operating a thumb nut 11, since the moving block 13-2 is engaged with the fine adjustment screw rod 12, the moving block 13-2 and consequently holder 5 can move vertically. By using a sliding pin 15 and a clamp 16, they can be set at an adequate position.

Said stand 14 is also fixed at a predetermined location of another automatic inspection apparatus. In this case, in order that the laser beam can scan whole surface of the inspected object 1, the stand 14 should be fixed to a moving part of said automatic inspection apparatus, whereby the whole of the detector can move. Therefore, each part of said detector including the stand 12 should have sufficient strength which withstands against the disturbances such as vibration.

In an embodiment described above, an example has been explained in that the angle  $\alpha$  is about  $45^\circ$ , where  $\alpha$  is the angle between the optical fiber 3 and the surface of the inspected object 1. However, according to the type and the nature of the defects and the characteristics concerning the direction of the scattered light, said angle  $\alpha$  may need to take an angle other than about  $45^\circ$ , for example  $30^\circ$  and  $60^\circ$ . These angle  $\alpha$  can be practiced by merely changing of said fixture 9 and the direction of the holes of the holder

5, so on. Therefore, in the detector for surface deficiency of optical type according to the present invention which a plural of the optical fibers 3 are arranged radially, it is possible to use arbitrary angle of  $\alpha$  and any number of optical fibers other than three fibers.

Figures 7(a) and (b) show a schematic structure of an embodiment of the element of the photo detector for surface defects according to the present invention. As is shown in Figure 7(a), the end portions of the optical fibers 3 are inserted into the holes 32 which are formed in the fixture 31, whereby a plural of the optical fibers 3 are gathered compactly. The fixture 31 is mounted to the magnetic shield case 29 of a photomultiplier 28 by a adequate fixing device 30. Thus, the end portions 3 of the optical fibers 3 are disposed in the proximity of the effective plane of the photomultiplier 28, so that the photoelectric conversion is carried out. In this case, the total power of the light received by all optical fibers is converted to electric power.

In Figure 7(b), each of photo detector, for example PIN photodiode, corresponds to each optical fiber 3, where the end portion 3 of the optical fiber 3 may be disposed in close proximity of the PIN photodiode 34 by means of using the fixing device 33. Though it is not shown in Figure 7, it is a matter of course to require a adequate cover case which blocks the exterior light to enter inside the fixing device 33.

It is needless to say that the type of the photo detector and the method fixing the optical fibers 3 described above are merely an example.

As is described above, the detecting section of the photo detector for surface deficiency of optical type according to the present invention comprises laser tube, lens which collects the laser beam from said laser oscillating tube and a group of the optical fibers which are arranged radially and pointed toward the laser spot formed in front of the lens. Said photo detector can effectively detect the light scattered to nearly overall directions from the surface defects. Since the light receiving section has simple construction, the photo detectors are merely disposed in proximity of another ends of a group of said optical fibers, and optical adjustment and maintenance of them are easy. Furthermore, since all elements of the detecting section except the photo detectors are formed into one body and this body is made as a separated body from the photo detectors, the detecting section can have a compact construction and can be mounted on the moving block of the automatic inspection apparatus. On the other hand, the detecting section can be set at a arbitrary location as a separate one. Hence, the detector for surface deficiency of optical type according to the present invention is usefully applicable to the automatic inspection apparatus in the production line.

Brief description of the drawings

Figure 1 is a diagrammatic side view showing arrangement of a optical fiber in the detector for surface deficiency of optical type according to the present invention.

Figure 2 is a projection drawing of the end planes of the optical fibers to the surface of the inspected object.

Figure 3 is a characteristic curve showing the ratio of the area of the end plane of the optical fiber to the area of the semisphere.

Figure 4 is an example of characteristic curve showing the percentage of light intensity transmitted into the optical fiber as a function of incidence angle  $\theta$ .

Figure 5 is a characteristic curve of the maximum incidence angle as a function of the number  $n$  of the optical fibers in the arrangement of the optical fibers in the detector for surface deficiency of optical type according to the present invention.

Figure 6(a),(b)and(c) are drawings showing the construction of an embodiment of the detector for surface deficiency of optical type according to the present invention.

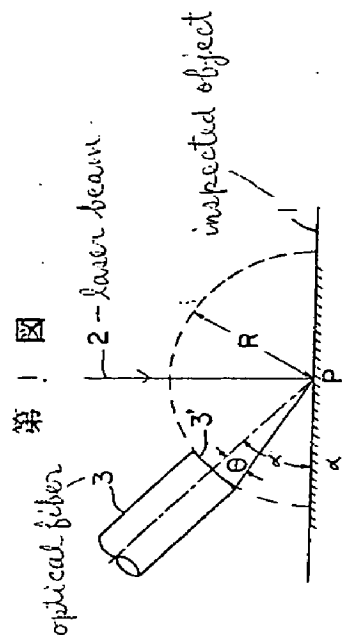
Figure 7(a)and(b) are drawings showing the construction of an embodiment of the detecting section of the detector for surface deficiency of optical type according to the present invention.

Description of the referece number

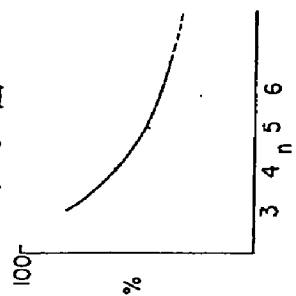
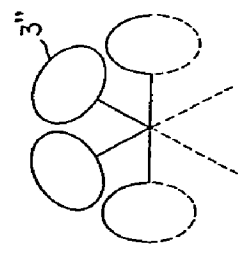
1	inspeted object
2	laser beam
3	optical fiber
4	laser oscillating tube
5	holder
6,17,27	setscrew
7	window
8	fine adjustment dial
9	fixture
10	inlet port for power supply line
11	thumb nut
12	fine adjustment screw rod
13	roller guide
13-1	fixed block
13-2	moving block
14	stand
15	sliding pin
16	clamp
18	fixing ring
19	rotating ring
20	press down ring
21	inner tube for lens
22	lens
23	outer sylinder for lens
24,25	screw
26	pin hole plate
28	photomutiplier
29	magnetic shielding case
30	fixing device



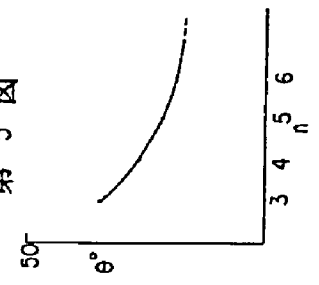
31 fixture  
32 hole  
33 fixing device  
34 photo detector



第 2 图



第 5 图



第 6 图

